

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Kohki MUKAI**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Filed: **March 8, 2002**

For: **OPTICAL SWITCH USING MULTIMODE INTERFEROMETER, AND OPTICAL  
DEMULTIPLEXER**

JC997 U.S. PTO  
10/092551  
03/08/02

#2  
D. Scott

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

March 8, 2002

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign applications are hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**Japanese Appln. No. 2001-316546, filed October 15, 2001**

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of these applications be marked to indicate that the applicant has complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,  
ARMSTRONG, WESTERMAN & HATTORI, LLP



Donald W. Hanson  
Reg. No. 27,133

Atty. Docket No.: 020213  
Suite 1000, 1725 K Street, N.W.  
Washington, D.C. 20006  
Tel: (202) 659-2930  
Fax: (202) 887-0357  
DWH/l

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

JCS97 U.S. PTO  
10/092551  
03/08/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年10月15日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-316546

[ ST.10/C ]:

[ JP2001-316546 ]

出 願 人

Applicant(s):

富士通株式会社

2002年 1月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造

出証番号 出証特2001-3117133

【書類名】 特許願

【整理番号】 0140074

【提出日】 平成13年10月15日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/28

【発明の名称】 光スイッチ及び光デマルチプレクサ

【請求項の数】 10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 向井 剛輝

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100091340

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 敬四郎

【電話番号】 03-3832-8095

【選任した代理人】

【識別番号】 100105887

【弁理士】

【氏名又は名称】 来山 幹雄

【電話番号】 03-3832-8095

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009852

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705794

【包括委任状番号】 0109607

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチ及び光デマルチプレクサ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 信号光が入力される第 1 の入力口と、少なくとも 2 つの出力口とを有する第 1 のマルチモード干渉計と、

前記複数の出力口から選択された一つまたは複数の第 1 の出力口の各々に接続されて該第 1 の出力口から出力される光を伝搬させ、外部からの契機信号によって屈折率変化を生ずる第 1 の光導波路と、

前記複数の出力口から選択された一つまたは複数の第 2 の出力口の各々に接続されて該第 2 の出力口から出力される光を伝搬させる第 2 の光導波路と、

前記第 1 の光導波路の屈折率を変化させるための契機信号を、該第 1 の光導波路に供給する契機手段とを有する光スイッチ。

【請求項 2】 前記第 1 の光導波路が、半導体光増幅器を含む請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 3】 さらに、少なくとも 2 つの入力口と、第 1 の出力口とを有し、複数の入力口が、それぞれ前記第 1 の光導波路の出力端と前記第 2 の光導波路の出力端とに接続された第 2 のマルチモード干渉計を有する請求項 1 または 2 に記載の光スイッチ。

【請求項 4】 前記契機手段が、

前記第 1 の光導波路を挟んで対向し、制御光を多重反射させる一対の反射鏡と

、  
該反射鏡で多重反射するように、前記一対の反射鏡内に制御光を導入する制御光導入手段と

を有する請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光スイッチ。

【請求項 5】 前記第 1 のマルチモード干渉計が、前記第 1 の入力口以外に第 2 の入力口を有し、

前記契機手段が、

制御光が入力される第 1 の入力口と、第 1 の出力口と第 2 の出力口とを有する

第 3 のマルチモード干渉計と、

前記第 3 のマルチモード干渉計の第 2 の出力口から出力される光を、前記第 1 のマルチモード干渉計の第 2 の入力口に入力する第 3 の光導波路と、

前記第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口から出力される光を、信号光と合波して前記第 1 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口へ入力する合波光学素子と

を含む請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光スイッチ。

【請求項 6】 前記合波光学素子が、前記第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口に接続された第 1 の入力口と、信号光が入力される第 2 の入力口と、該第 1 の入力口と第 2 の入力口とから入力された光を合波して出力口から出力し、該出力口が前記第 1 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口に接続された第 4 のマルチモード干渉計を含む請求項 5 に記載の光スイッチ。

【請求項 7】 複数のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、及び制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口を有するドロップ素子と、

時分割多重された信号光を分岐させ、分岐された複数の信号光を、それぞれ前記ドロップ素子の信号光入力口に入力する信号導波路と、

1 つの制御光を分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応する前記ドロップ素子に、一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させる制御導波路とを有する光デマルチプレクサ。

【請求項 8】  $N$  個 ( $N$  は 2 以上の整数) のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、及び制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口を有するドロップ素子と、

多重度  $N$  に時分割多重され、 $N$  個のチャンネルを有する信号光を、前記ドロップ素子の各々の信号光入力口に入力させる信号導波路と、

1 つの制御光を  $N$  個に分岐させ、分岐した  $i$  番目 ( $i$  は 1 以上  $N$  以下の整数) の制御光を、 $i$  番目の前記ドロップ素子の制御光入力口に入力させる制御導波路

と

を有し、 $i$  番目のドロップ素子に入力される制御光が、 $i$  番目のドロップ素子に入力される信号光の  $i$  番目のチャンネルに同期するように、前記信号導波路と制御導波路が制御光及び信号光の一方を他方に対して遅延させる光デマルチプレクサ。

【請求項 9】 第 1 段目から第  $N$  段目までの  $N$  個 ( $N$  は 2 以上の整数) のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口、及び少なくとも該ドロップ信号出力口に信号光が出力されていない期間に信号光を出力するスルー信号出力口を有するドロップ素子と

時分割多重された信号光を、第 1 段目のドロップ素子の信号光入力口に入力する第 1 の光導波路と、

各ドロップ素子のスルー信号出力口を、次段のドロップ素子の信号光入力口に接続する第 2 の光導波路と、

1 つの制御光を分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応する前記ドロップ素子に、後段になるほど一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させる制御導波路と

を有する光デマルチプレクサ。

【請求項 10】 前記信号光が、 $N$  個のチャンネルが時分割多重された信号であり、

前記制御導波路は、第  $i$  段目 ( $i$  は 1 以上  $N$  以下の整数) のドロップ素子に入力される制御光を、該  $i$  段目のドロップ素子に入力される信号光の第  $i$  番目のチャンネルに同期させる請求項 9 に記載の光デマルチプレクサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光スイッチ及び光デマルチプレクサに関し、特に構成及び制御の簡単な光スイッチ及び光デマルチプレクサに関する。

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

近年、大容量光通信方式として、波長分割多重（WDM）光通信方式が開発され、さらに大容量通信を目指した光時分割多重（OTDM）光通信方式や、時間波長分割多重（TWDM）光通信方式が提唱され、それらの方式の研究が進められている。

## 【 0 0 0 3 】

WDM光通信方式は、信号光を波長多重することにより信号密度を高める方式である。OTDM光通信方式やTWDM光通信方式等の時間分割方式は、同一波長の信号光を時間で分割し、多数のチャンネルに割り当てることにより信号密度を高める方式である。

## 【 0 0 0 4 】

電気信号の応答速度は半導体素子内のキャリアの移動時間で制限され、光の応答速度よりも遅い。例えば、現在、電気信号の速度限界は40 Gbit/s程度と考えられている。この速度以上のOTDM信号を処理するためには、光信号を高速の光信号処理によって分割し、電気処理可能なビットレートまで落とす（デマックス）必要がある。

## 【 0 0 0 5 】

こうした背景を踏まえ、近年、光信号を電気信号に変換することなく、光信号のままデマックスする光素子（光デマルチプレクサ）が研究されている。従来、非線型ループミラー（NOLM）型、マッハツェンダ型、偏光分離型等の光デマルチプレクサが提案されている。

## 【 0 0 0 6 】

図15（A）に、NOLM型光デマルチプレクサの概略図を示す。光信号  $sig_1$  が入力側光ファイバ100を經由して、光ファイバのループ101の分岐点102に到達する。光信号  $sig_1$  は、分岐点102で、ループ101内を反時計回りに進行する光信号  $sig_2$  と、時計回りに進行する光信号  $sig_3$  に分岐される。光信号  $sig_1$  は、チャンネル#1～チャンネル#4までの4つのチャンネルが時分割多重された信号である。



## 【 0 0 0 7 】

光ループ 1 0 1 内の、分岐点 1 0 2 とは非対称の位置に非線型導波路 1 0 3 が挿入されている。反時計回りに進行する光信号  $sig_2$  が、時計回りに進行する光信号  $sig_3$  よりも早く、非線型導波路 1 0 3 に到達する。光信号  $sig_2$  のチャンネル # 2 が非線型導波路 1 0 3 を通過した直後に、非線型導波路 1 0 3 内に制御光パルス  $con$  が入力される。制御光パルス  $con$  が入力されると、非線型導波路 1 0 3 の屈折率が変化し、光信号  $sig_2$  のチャンネル # 3 及び # 4 の光の位相が  $\pi$  だけシフトする。図 1 5 では、位相が  $\pi$  だけシフトしたパルスに斜線が付されている。

## 【 0 0 0 8 】

光信号  $sig_3$  は、光信号  $sig_2$  よりも遅れて非線型導波路 1 0 3 に到達するため、非線型導波路 1 0 3 に制御光パルス  $con$  が入力された時点では、チャンネル # 1 しか非線型導波路を通過していない。このため、光信号  $sig_3$  のチャンネル # 2 ~ # 4 の光の位相が  $\pi$  だけシフトする。

## 【 0 0 0 9 】

光信号  $sig_2$  と  $sig_3$  とが分岐点 1 0 2 に戻ると、両者のチャンネルのうち位相の揃っているチャンネル # 1、# 3 及び # 4 は、入力側光ファイバ 1 0 0 内を進行し、位相のずれているチャンネル # 2 は、出力側光ファイバ 1 0 5 内を進行する。このように、時分割多重された光信号  $sig_1$  から 1 つのチャンネルの信号のみを分離することができる。

## 【 0 0 1 0 】

NOLM 型光デマルチプレクサでは、光ループ 1 0 1 内を光信号が通過する時間が、処理可能な信号速度を制限している。また、光ファイバのループを使用するため、装置の小型化を図ることが困難である。

## 【 0 0 1 1 】

図 1 5 (B) に、マッハツェンダ型光デマルチプレクサの概略図を示す。マッハツェンダ干渉計 1 2 0 の 2 本のアームに、それぞれ非線型導波路 1 2 1 及び 1 2 2 が挿入されている。光信号  $sig_{10}$  が光信号  $sig_{11}$  と  $sig_{12}$  とに分岐されて、それぞれが非線型導波路 1 2 1 及び 1 2 2 に導入される。制御光パルス  $c$

onが、相互に異なるタイミングで、非線型導波路121及び122に入力される。

【0012】

非線型導波路121においては、チャンネル#1のパルスが通過した直後に、制御光パルスconが入力され、非線型導波路122においては、チャンネル#2のパルスが通過した直後に制御光パルスconが入力される。非線型導波路121を通過した光信号sig<sub>11</sub>のチャンネル#2～#4の光の位相が $\pi$ だけシフトし、非線型導波路122を通過した光信号sig<sub>12</sub>のチャンネル#3及び#4の光の位相が $\pi$ だけシフトする。

【0013】

光信号sig<sub>11</sub>とsig<sub>12</sub>とを合波することにより、チャンネル#1、#3及び#4の信号が出力光ファイバ125内に導入され、チャンネル#2の信号が他の出力光ファイバ126内に導入される。

【0014】

マッハツェンダ型光デマルチプレクサでは、非線型導波路が挿入され、相互に平行に配置された2本のアームが必要になる。このため、装置が大きくなってしまう。

【0015】

図15(C)に、偏光分離型光デマルチプレクサの概略図を示す。光信号sig<sub>20</sub>が複屈折結晶130に入射する。複屈折結晶130は、TMモードの光を、TEモードの光に対して1パルス分遅延させる。複屈折結晶130を通過した光信号sig<sub>21</sub>及び制御光パルスconが、非線型導波路131に入力される。TEモードのチャンネル#2のパルスが非線型導波路131を通過した直後に、制御光パルスconが非線型導波路131に入力される。

【0016】

非線型導波路131を通過した光信号sig<sub>22</sub>の、TEモードのチャンネル#3及び#4のパルスの光の位相が $\pi$ だけ遅れ、TMモードのチャンネル#2～#4のパルスの光の位相が $\pi$ だけ遅れる。非線型導波路131を通過した光信号sig<sub>22</sub>が、複屈折結晶132に入力される。複屈折結晶132は、TEモードの光を

TMモードの光に対して1パルス分だけ遅延させる。これにより、複屈折結晶132を通過した光信号  $sig_{23}$  においては、TMモードの各パルスが、TEモードの対応するチャンネルのパルスの位置と一致する。

#### 【0017】

光信号  $sig_{23}$  においては、チャンネル#1、#3及び#4のTMモードのパルスとTEモードのパルスとの位相が揃うが、チャンネル#2の両モードのパルスは相互に位相差を有する。光信号  $sig_{23}$  を偏光子133に入力させることにより、チャンネル#2のパルスのみを分離することができる。

#### 【0018】

上述のように、偏光分離型光デマルチプレクサでは、入力される光信号のTMモードとTEモードとの強度がほぼ等しいことが条件とされる。ところが、一般に、光ファイバを伝搬してきた光信号の偏光状態は一定ではない。このため、偏光分離型光デマルチプレクサは、実用には不向きである。

#### 【0019】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上述のように、従来のいずれの方式の光デマルチプレクサも、処理速度の制限、装置の大型化、光信号の偏光状態依存性等の課題を有する。

#### 【0020】

本発明の目的は、処理速度を高め、装置の小型化を図ることが可能で、光信号の偏光状態に依存しない光スイッチを提供することである。

#### 【0021】

本発明の他の目的は、上記光スイッチを用いた光デマルチプレクサを提供することである。

#### 【0022】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の一観点によると、信号光が入力される第1の入力口と、第1の出力口と第2の出力口とを有する第1のマルチモード干渉計と、前記第1の出力口に接続されて該第1の出力口から出力される光を伝搬させ、外部からの契機信号によって屈折率変化を生ずる第1の光導波路と、前記第2の出力口に接続されて該第

2の出力口から出力される光を伝搬させる第2の光導波路と、前記第1の光導波路の屈折率を変化させるための契機信号を、該第1の光導波路に供給する契機手段とを有する光スイッチが提供される。

【0023】

さらに、少なくとも2つの入力口と、第1の出力口とを有し、2つの入力口が、それぞれ前記第1の光導波路の出力端と前記第2の光導波路の出力端とに接続された第2のマルチモード干渉計を有する光スイッチが提供される。

【0024】

本発明の他の観点によると、複数のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、及び制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口を有するドロップ素子と、時分割多重された信号光を分岐させ、分岐された複数の信号光を、それぞれ前記ドロップ素子の信号光入力口に入力する信号導波路と、1つの制御光を分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応する前記ドロップ素子に、一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させる制御導波路とを有する光デマルチプレクサが提供される。

【0025】

本発明の他の観点によると、N個（Nは2以上の整数）のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、及び制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口を有するドロップ素子と、多重度Nに時分割多重され、N個のチャンネルを有する信号光を、前記ドロップ素子の各々の信号光入力口に入力させる信号導波路と、1つの制御光をN個に分岐させ、分岐したi番目（iは1以上N以下の整数）の制御光を、i番目の前記ドロップ素子の制御光入力口に入力させる制御導波路とを有し、i番目のドロップ素子に入力される制御光が、i番目のドロップ素子に入力される信号光のi番目のチャンネルに同期するように、前記信号導波路と制御導波路が制御光及び信号光の一方を他方に対して遅延させる光デマルチプレクサが提供される。

【0026】

本発明の他の観点によると、第1段目から第N段目までのN個（Nは2以上の整数）のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口、及び少なくとも該ドロップ信号出力口に信号光が出力されていない期間に信号光を出力するスルー信号出力口を有するドロップ素子と、時分割多重された信号光を、第1段目のドロップ素子の信号光入力口に入力する第1の光導波路と、各ドロップ素子のスルー信号出力口を、次段のドロップ素子の信号光入力口に接続する第2の光導波路と、1つの制御光を分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応する前記ドロップ素子に、後段になるほど一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させる制御導波路とを有する光デマルチプレクサが提供される。

【0027】

#### 【発明の実施の形態】

図1及び図2を参照して、本発明の第1の実施例による光スイッチの構成及び動作原理について説明する。

【0028】

図1（A）は、第1の実施例による光スイッチの平面図を示す。第1の実施例による光スイッチは、第1段目マルチモード干渉計（MMI）1、第2段目マルチモード干渉計（MMI）2、非線型光導波路3及び4を含んで構成される。MMI1及び2は、比誘電率3.25のコア層の上下を、比誘電率3.18のクラッド層で挟んだ導波積層構造を有し、光の入射方向に直交する方向のコア層の幅（図1の縦方向の一辺の長さ） $W_1$ が $15\mu\text{m}$ 、光の入射方向に平行な方向のコア層の長さ（図1の横方向の一辺の長さ） $L_1$ が $320\mu\text{m}$ である。図1では、光の入射方向に縮小して表されている。コア層の材料として、InGaAsを用いることができ、クラッド層の材料として、InPを用いることができる。これらの材料は、有機金属化学気相成長（MOCVD）によって、基板上に形成することができる。また、導波路及びマルチモード干渉計は、半導体プロセスで用いられるリソグラフィ及び埋め込み成長を組み合わせることにより形成される。

【0029】

非線型光導波路 3 及び 4 は、半導体光増幅器 (SOA) で構成されている。SOA の幅 (図 1 の縦方向の一辺の長さ)  $W_2$  は  $2.5 \mu\text{m}$  であり、長さ (図 1 の横方向の一辺の長さ) は  $140 \mu\text{m}$  である。なお、通過する光の十分な位相変調を行うために、 $140 \mu\text{m}$  以上に長くしても、以下に説明するシミュレーション結果は変わらない。非線型導波路 3 及び 4 は、光または電氣的に励起されることにより、その導波路の屈折率を変化させる。MMI 1、2 及び非線型導波路 3、4 は、1 枚の半導体基板上に形成される。

#### 【0030】

第 1 段目 MMI は、1 つの入力口 1 A、第 1 の出力口 1 B、及び第 2 の出力口 1 C を有する。第 2 段目 MMI 2 は、第 1 の入力口 2 A、第 2 の入力口 2 B、第 1 の出力口 2 C、及び第 2 の出力口 2 D を有する。非線型導波路 3 が、第 1 段目 MMI 1 の第 1 の出力口 1 B を、第 2 段目 MMI 2 の第 1 の入力口 2 A に接続し、非線型導波路 4 が、第 1 段目 MMI 1 の第 2 の出力口 1 C を、第 2 段目 MMI 2 の第 2 の入力口 2 B に接続する。

#### 【0031】

第 1 段目 MMI 1 と第 2 段目 MMI 2 とは、非線型導波路 3 及び 4 の中心同士を結ぶ第 1 の仮想直線 C 1 に関して、相互に線対称な形状を有する。第 1 段目 MMI 1、第 2 段目 MMI 2、非線型導波路 3 及び 4 で構成される導波構造は、光の入射方向に平行な第 2 の仮想直線 C 2 に関して線対称な形状を有する。第 1 段目 MMI 1 の入力口 1 A と第 2 段目 MMI 2 の第 1 の出力口 2 C とは、第 1 の仮想直線 C 1 と第 2 の仮想直線 C 2 との交点に関して、点対称の位置に配置されている。第 2 段目 MMI 2 の第 1 の出力口 2 C と第 2 の出力口 2 D とは、第 2 の仮想直線に関して線対象の位置に配置されている。

#### 【0032】

図 1 (A) に示すように、非線型導波路 3 及び 4 が屈折率変化を生じていない状態では、第 1 段目 MMI 1 の入力口 1 A から入力された信号光は、非線型導波路 3 及び 4 を通過して、第 2 段目 MMI 2 の第 1 の出力口 2 C から出力される。

#### 【0033】

図 1 (B) に示すように、非線型導波路 3 が、光または電氣的に励起されて屈

折率が変化した状態を示す。屈折率の変化した非線型導波路 3 に斜線が付されている。光回路の対称性が崩れ、第 2 の出力口 2 D から信号光が出力される。第 2 段目 MMI 2 の第 2 の出力口 2 D から信号光が出力されない状態がオフ状態、信号光が出力される状態がオン状態に対応する。

## 【 0 0 3 4 】

屈折率変化を間欠的に生じさせることにより、オフ状態からオン状態に移行させることができる。

## 【 0 0 3 5 】

図 2 に、図 1 に示した光スイッチについて、ビーム伝搬法による光路シミュレーションを行った結果を示す。図 2 (A)、(B)、(C) は、それぞれ非線型導波路 3 と 4 との双方の屈折率が変わっていない状態、非線型導波路 4 の屈折率が変わった状態、及び非線型導波路 3 の屈折率が変わった状態を示す。図 2 において、光強度の強い部分が、白く表されている。

## 【 0 0 3 6 】

図 2 (A) に示したように、非線型導波路 3 及び 4 の屈折率が変わっていない状態では、入射光が、2 つの非線型導波路 3 及び 4 を通過し、第 2 段目 MMI 2 の第 1 の出力口 2 C から出力され、第 2 の出力口 2 D からは出力されないことが確認できる。図 2 (B) 及び (C) に示したように、非線型導波路 3 及び 4 の一方の屈折率が変わった状態では、第 2 段目 MMI 2 の第 1 の出力口 2 C 及び第 2 の出力口 2 D の双方から、信号光が出力されていることが確認できる。

## 【 0 0 3 7 】

2 つの非線型導波路 3 及び 4 の屈折率が変わっていない状態では、第 2 段目 MMI 2 の第 2 の出力口 2 D からは、実質的に信号光が出力されないため、R Z (Return to Zero) スイッチが実現される。これは、実用上の観点から、優れた特性の光スイッチである。

## 【 0 0 3 8 】

次に、図 3 及び図 4 を参照して、本発明の第 2 の実施例による光スイッチについて説明する。

## 【 0 0 3 9 】

図 3 (A) は、第 2 の実施例による光スイッチの平面図を示す。第 2 の実施例による光スイッチは、第 1 の実施例による光スイッチと同様に、第 1 段目 MMI 1 1、第 2 段目 MMI 1 2、非線型導波路 1 3 及び 1 4 により構成されている。各構成部分の接続関係は、第 1 の実施例の光スイッチと同一であり、各構成部分の形状及び大きさが異なる。

#### 【0040】

第 1 段目 MMI 1 1 のコア層の幅  $W_3$  及び長さ  $L_3$  は、それぞれ  $15\ \mu\text{m}$  及び  $130\ \mu\text{m}$  である。第 2 段目 MMI 1 2 のコア層の幅  $W_4$  及び長さ  $L_4$  は、それぞれ  $15\ \mu\text{m}$  及び  $80\ \mu\text{m}$  である。非線型導波路 1 3 及び 1 4 の長さ方向の中間の点を通過する第 3 の仮想直線  $C_3$  に関して、対称性が崩れている。光の入射方向に平行な第 4 の仮想直線  $C_4$  に関しては、対称性が保たれている。第 1 段目 MMI 1 1 の入力口 1 1 A が、第 4 の仮想直線  $C_4$  上に配置されている。

#### 【0041】

図 4 に、図 3 に示した光スイッチについて、ビーム伝搬法による光路シミュレーションを行った結果を示す。図 4 (A) は、非線型導波路 1 3 と 1 4 との双方の屈折率が変化していない状態を示し、図 4 (B) は、非線型導波路 1 3 の屈折率が変化した状態を示す。図 4 において、光強度の強い部分が、白く表されている。

#### 【0042】

図 4 (A) に示したように、非線型導波路 1 3 及び 1 4 の屈折率が変化していない状態では、入射光が、2 つの非線型導波路 1 3 及び 1 4 を通過し、第 2 段目 MMI 1 2 の 2 つの出力口 1 2 C 及び 1 2 D からほぼ均等に出力されていることが確認できる。これは、光スイッチが、第 4 の仮想直線  $C_4$  に関して線対称であるためである。

#### 【0043】

図 4 (B) に示したように、非線型導波路 1 3 の屈折率が変化した状態では、第 2 段目 MMI 1 2 の第 1 の出力口 1 2 C から出力される光の強度が弱まり、第 2 の出力口 1 2 D から出力される光の強度が強まっていることが確認できる。このように、出力光の強度を変化させることにより、スイッチングを行うことがで



きる。ただし、第 1 の実施例の場合と異なり、R Z スイッチは実現されない。

【 0 0 4 4 】

次に、図 5 及び図 6 を参照して、本発明の第 3 の実施例による光スイッチの構成及び動作について説明する。

【 0 0 4 5 】

上記第 1 及び第 2 の実施例による光スイッチでは、MMI が 2 段構成になっていたが、第 3 の実施例では、1 つの MMI 2 1 と、2 つの非線型導波路 2 2 及び 2 3 により構成される。NNI 2 1 のコア層の幅 W 5 及び長さ L 5 は、それぞれ  $15\mu\text{m}$  及び  $320\mu\text{m}$  である。MMI 2 1 は、1 つの入力口 2 1 A、第 1 の出力口 2 1 B、及び第 2 の出力口 2 1 C を有する。

【 0 0 4 6 】

第 1 の出力口 2 1 B 及び第 2 の出力口 2 1 C に、それぞれ非線形導波路 2 2 及び 2 3 が接続されている。

【 0 0 4 7 】

図 6 に、図 5 に示した光スイッチについて、ビーム伝搬法による光路シミュレーションを行った結果を示す。図 6 (A) は、非線型導波路 2 2 と 2 3 との双方の屈折率が変化していない状態を示し、図 6 (B) は、非線型導波路 2 3 の屈折率が変化した状態を示す。図 6 において、光強度の強い部分が、白く表されている。

【 0 0 4 8 】

図 6 (A) に示したように、非線型導波路 2 2 及び 2 3 の屈折率が変化していない状態では、入射光が、2 つの非線型導波路 2 2 及び 2 3 に、ほぼ均等に伝搬されることが確認できる。

【 0 0 4 9 】

図 6 (B) に示したように、非線型導波路 2 2 の屈折率を変化させた状態では、第 1 の出力口 2 1 B から出射する光の強度が強くなり、第 2 の出力口 2 1 C から出射する光の強度が弱くなることが確認できる。このように、出力光の強度を変化させることにより、スイッチングを行うことができる。ただし、第 2 の実施例の場合と同様に、R Z スイッチは実現されない。

## 【 0 0 5 0 】

次に、上記第 1 ～ 第 3 の実施例による非線型導波路の屈折率を変化させるための具体的な方法について説明する。

## 【 0 0 5 1 】

図 7 に、非線型導波路を構成する半導体増幅器（SOA）の概略斜視図を示す。光増幅のための利得を有する活性層 2 0 0 を、p 型半導体層 2 0 1 と n 型半導体層 2 0 2 とで挟んだ構造とされている。活性層 2 0 0 は、両側の半導体層 2 0 1 及び 2 0 2 よりもバンドギャップの小さな半導体材料で形成された半導体層、または量子井戸層で構成される。活性層 2 0 0 は、例えば InGaAsP で形成され、両側の半導体層 2 0 1 及び 2 0 2 は、InP で形成される。

## 【 0 0 5 2 】

活性層 2 0 0 に順方向バイアスを印加すると、活性層 2 0 0 内のキャリア分布が反転分布状態になり、活性層 2 0 0 の屈折率が変化する。活性層 2 0 0 の 1 つの端面から活性層 2 0 0 内に光信号 2 0 3 が入射すると、光信号が位相変調を受け、反対側の端面から出射する。

## 【 0 0 5 3 】

このように、SOA で構成された非線型導波路に電気信号を印加することにより、屈折率変化を生じさせることができる。

## 【 0 0 5 4 】

図 7 では、非線型導波路の屈折率を電氣的に変化させる方法を説明した。この方法では、光スイッチの応答速度が、電気信号の処理速度によって制限される。より高速のスイッチングを行うためには、光信号によって、非線型導波路の屈折率を変化させることが好ましい。以下、光信号によって屈折率変化を生じさせる方法を説明する。

## 【 0 0 5 5 】

図 8 に、図 1 に示した第 1 の実施例に用いられる光スイッチの概略断面図を示す。非線型導波路 3 を挟むように、一对の反射鏡 3 1 及び 3 2 が、相互に反射面を対向させて配置されている。第 1 段目 MMI 1 の上に、基板面に平行に制御光用導波路 3 3 が配置されている。制御光用導波路 3 3 の出射端に、出射した制御

光 c o n を基板側に向かって反射させる反射鏡 3 0 が配置されている。

#### 【 0 0 5 6 】

一对の反射鏡 3 1 及び 3 2 は、例えば誘電体や半導体の多層膜で構成することができる。斜めの反射鏡 3 0 は、導波路の端面を斜めにエッチングすることにより形成することができる。

#### 【 0 0 5 7 】

制御光用導波路 3 3 から出射した制御光 c o n が、基板面に対して斜めに配置された反射鏡 3 0 により、基板（非線型導波路）に向かって反射する。反射鏡 3 0 で反射した制御光 c o n は、一对の反射鏡 3 1 と 3 2 とで反射を繰り返す。このとき、制御光 c o n が、非線型導波路 3 を励起させて、その屈折率を変化させる。

#### 【 0 0 5 8 】

図 9 を参照して、本発明の第 4 の実施例による光スイッチの構成及び動作について説明する。

#### 【 0 0 5 9 】

図 9 (A) に、第 4 の実施例による光スイッチの平面図を示す。第 4 の実施例による光スイッチは、図 1 に示した第 1 の実施例による第 1 段目 M M I 1、第 2 段目 M M I 2、非線型導波路 3 及び 4 に加え、制御光導入用 M M I 4 0、導波路 4 1 及び 4 2 を含んで構成される。なお、第 1 の実施例では、第 1 段目 M M I 1 に、1 つの入力口 1 A のみが設けられている場合を示したが、第 4 の実施例では、仮想直線 C 2 に関して入射光 1 A と対称の位置に、もう一つの入力口 1 D が設けられている。

#### 【 0 0 6 0 】

制御光導入用 M M I 4 0 は、第 1 の入力口 4 0 A、第 2 の入力口 4 0 B、第 1 の出力口 4 0 C、及び第 2 の出力口 4 0 D を有する。導波路 4 1 は、制御光導入用 M M I 4 0 の第 1 の出力口 4 0 C と、第 1 段目 M M I 1 の第 1 の入力口 1 A とを接続する。また、信号光 s i g が、導波路 4 1 内を伝搬する制御光に合波されて、第 1 段目 M M I 1 の第 1 の入力口 1 A に入力される。信号光 s i g の波長は、例えば  $1.55 \mu\text{m}$  であり、制御光の波長は、信号光の波長よりも短く、例え

ば  $1.3\ \mu\text{m}$  または  $1.48\ \mu\text{m}$  である。

【0061】

図9 (C) に示すように、制御光導入用MMI 40の第2の入力口40Bから制御光パルス  $c o n$  を入射すると、制御光  $c o n$  パルスは、導波路41及び42を通過して、非線型導波路3に入力される。これにより、非線型導波路3が励起され、その屈折率が変化する。これは、図2 (C) に示した状態と同一であるため、信号光  $s i g$  は、第2段目MMI 2の第1の出力口2Cと第2の出力口2Dとから、ほぼ均等に出力される。

【0062】

図9 (C) に示すように、制御光導入用MMI 40の第1の入力口40Aから制御光パルス  $c o n$  が入射すると、制御光パルス  $c o n$  は、非線型導波路4に到達する。これにより、非線型導波路4が励起され、その屈折率が変化する。

【0063】

図10に、非線型導波路3及び4の屈折率の時間変動を示す。曲線  $n_3$  及び  $n_4$  が、それぞれ非線型導波路3及び4の屈折率を示す。時刻  $t_1$  において、図9 (B) に示したように、制御光パルス  $c o n$  が入力されて、非線型導波路3の屈折率が変化する。その屈折率は、決まった時定数で元の屈折率に戻る。時刻  $t_2$  において、図9 (C) に示したように、制御光パルス  $c o n$  が入力されて、非線型導波路4の屈折率が変化する。このとき、非線型導波路4の屈折率  $n_4$  が、当該時刻における非線型導波路3の屈折率  $n_3$  とほぼ等しくなるように、非線型導波路3及び4が設計されている。

【0064】

図9 (C) に示したように、非線型導波路3及び4の屈折率が共に変化すると、光回路の対称性が確保され、図9 (A) の場合と同様に、第2段目MMI 2の第1の出力口2Cのみから信号光  $s i g$  が出力され、第2の出力口2Dからは、信号光  $s i g$  が出力されない。従って、時刻  $t_1$  と  $t_2$  との間は、第2段目MMI 2の第2の出力口2Dから信号光  $s i g$  が出力され、時刻  $t_2$  以降は、第2の出力口2Dからは、信号光  $s i g$  が出力されない。

【0065】

図 1 0 に示すように、時刻  $t_3$  において、制御光導入用 MMI 4 0 の第 2 の入力口 4 0 B から制御光パルスを入射し、時刻  $t_4$  において、第 1 の入力口 4 0 A から制御光パルスを入射する。これにより、時刻  $t_3$  と  $t_4$  との間に、第 2 の出力口 2 D から信号光  $s i g$  を出射させることができる。

## 【 0 0 6 6 】

上記動作を周期的に繰り返すことにより、所望の期間のみ、信号光  $s i g$  を第 2 の出力口 2 D から出力させることができる。図 1 0 の時刻  $t_1$  及び  $t_3$  における制御は、プッシュ制御と呼ばれ、時刻  $t_2$  及び  $t_4$  における制御は、プル制御と呼ばれる。第 4 の実施例による光スイッチは、プッシュプル制御を行うことが可能である。

## 【 0 0 6 7 】

出力口から出力された光を、波長フィルタでフィルタリングすることにより、制御光をカットして信号光のみを取り出すことができる。これにより、信号光の  $S/N$  比を改善することができる。

## 【 0 0 6 8 】

次に、図 1 1 を参照して、本発明の第 5 の実施例による光スイッチの構成及び動作について説明する。

## 【 0 0 6 9 】

図 1 1 (A) は、第 5 の実施例による光スイッチの平面図を示す。以下、図 9 (A) に示した第 4 の実施例による光スイッチとの相違点について説明する。

## 【 0 0 7 0 】

第 4 の実施例では、導波路 4 1 において信号光  $s i g$  と制御光パルス  $c o n$  とが合波されていたが、第 5 の実施例では、合波用 MMI 5 0 によって、信号光  $s i g$  と制御光パルス  $c o n$  とが合波される。

## 【 0 0 7 1 】

合波用 MMI 5 0 の第 1 の入力口 5 0 A に、信号光  $s i g$  が入力される。合波用 MMI 5 0 の第 2 の入力口 5 0 B に、制御光導入用 MMI 4 0 の第 1 の出力口 4 0 C から出力された制御光パルス  $c o n$  が入力される。合波用 MMI 5 0 の出力口から出力された信号光  $s i g$  及び制御光パルス  $c o n$  が、第 1 段目 MMI 1

の第1の入力口1Aに入力される。

【0072】

制御光導入用MMI40の前段に、制御光分岐用MMI60が配置されている。制御光分岐用MMIは、入力口60A、第1の出力口60C、及び第2の出力口60Dを有する。第1の出力口60Cは、導波路62を介して制御光導入用MMI40の第1の入力口40Aに接続され、第2の出力口60Dは、導波路61を介して制御光導入用MMI40の第2の入力口40Bに接続されている。導波路62は、導波路61よりも長い。すなわち、導波路62は、遅延回路を構成している。

【0073】

制御光分岐用MMI60の入力口60Aから制御光パルスconが入力される。制御光パルスconは、第1の出力口60Cと第2の出力口60Dに、ほぼ均等に出力される。導波路62を通過する制御光パルスcon<sub>1</sub>は、導波路61を通過する制御光パルスcon<sub>2</sub>よりも遅延して、制御光導入用MMI40に到達する。この遅延時間が、図10に示した時刻t<sub>1</sub>からt<sub>2</sub>までの遅延に相当する。このため、1つの制御光パルスconを入力するのみで、プッシュプル制御を行うことができる。

【0074】

図11(B)に、図11(A)の光スイッチの内部光回路をブラックボックスとした光スイッチ70のブロック図を示す。光スイッチ70は、制御光パルスconが入力される制御光入力口70C、信号光sigが入力される信号光入力口70S、2つの出力口70T及び70Dを有する。制御光入力口70Cは、図11(A)の制御光分岐用MMI60の入力口60Aに相当し、制御光入力口70Cは、図11(A)の合波用MMI50の入力口50Aに相当する。また、出力口70T及び70Dは、それぞれ図11(A)の第2段目MMI2の出力口2C及び2Dに相当する。

【0075】

制御光入力口70Cから制御光パルスconが入力されると、ある期間だけ出力口70Dから信号光sigが出力されるため、出力口70Dをドロップ信号出

力口と呼ぶ。また、他方の出力口 70 T を、スルー信号出力口と呼ぶ。本明細書において、光スイッチ 70 をドロップ素子と呼ぶ。

#### 【0076】

図 12 に、第 6 の実施例による光デマルチプレクサの概略平面図を示す。第 6 の実施例による光デマルチプレクサは、4 つのドロップ素子 70 (1) ~ 79 (4)、4 つの光電気変換素子 75 (1) ~ 75 (4)、信号光導波路 72、制御光導波路 71 を含んで構成される。ドロップ素子 70 (1) ~ 70 (4) の各々は、図 11 に示した第 5 の実施例によるドロップ素子 70 と同一のものである。

#### 【0077】

多重度 4 に時分割多重され、チャンネル # 1 ~ # 4 のパルスを含む信号光 *sig* が、信号光導波路 72 で 4 つの信号光に分岐される。分岐された信号光 *sig* が、それぞれドロップ素子 70 (1) ~ 70 (4) の信号光入力口に入力される。

#### 【0078】

制御光パルス *con* が、制御光導波路 71 により 4 つの制御光パルス *con*<sub>1</sub> ~ *con*<sub>4</sub> に分岐される。分岐された制御光パルス *con*<sub>1</sub> ~ *con*<sub>4</sub> が、それぞれドロップ素子 70 (1) ~ 70 (4) の制御光入力口に入力される。4 つの制御光パルス *con*<sub>1</sub> から *con*<sub>4</sub> は、一定の時間ずつ徐々に遅れて、対応するドロップ素子 70 (1) ~ 70 (4) に到達する。より具体的には、ドロップ素子 70 (i) に信号光 *sig* のチャンネル # i のパルスが到達する時刻に、制御光パルス *con*<sub>i</sub> が、ドロップ素子 70 (i) に到達する。これにより、プル制御が行われる。また、チャンネル # (i + 1) のパルスが到達するまでに、プッシュ制御が完了する。

#### 【0079】

このため、ドロップ素子 70 (i) のドロップ信号出力口から、チャンネル # i のパルスのみが出力される。このようにして、時分割多重された信号光 *sig* を分離し、チャンネルごとの信号を得ることができる。例えば、160Gb/s の信号光から、40Gb/s の 4 つの信号光を得ることができる。チャンネル # i の信号光は、光電気変換素子 75 (i) に入力され、電気信号に変換される。

#### 【0080】

図 1 3 に、本発明の第 7 の実施例による光デマルチプレクサの概略平面図を示す。第 6 の実施例では、4 つのドロップ素子が並列に接続されていたが、第 7 の実施例では、4 つのドロップ素子 7 0 ( 1 ) ~ 7 0 ( 4 ) が縦続接続されている。すなわち、ドロップ素子 7 0 ( i ) のスルー信号出力口が、次段のドロップ素子 7 0 ( i + 1 ) の信号光入力口に接続されている。光電気変換素子 7 5 ( 1 ) ~ 7 5 ( 4 ) が、それぞれドロップ素子 7 0 ( 1 ) ~ 7 0 ( 4 ) のドロップ信号出力口に接続されている。

#### 【 0 0 8 1 】

多重度 4 に時分割多重された信号光  $s i g$  が、第 1 段目のドロップ素子 7 0 ( 1 ) の信号光入力口に入力される。制御光パルス  $c o n$  は、4 つの制御光パルス  $c o n_1 \sim c o n_4$  に分岐される。分岐された制御光パルス  $c o n_1 \sim c o n_4$  は、それぞれドロップ素子 7 0 ( 1 ) ~ 7 0 ( 4 ) の制御光入力口に入力される。

#### 【 0 0 8 2 】

ドロップ素子 7 0 ( i ) に信号光  $s i g$  のチャンネル # i のパルスが到達する時刻に、制御光パルス  $c o n_i$  が、ドロップ素子 7 0 ( i ) に到達するように、制御光導波路 8 0 が、制御光パルス  $c o n_1 \sim c o n_4$  を所定時間だけ遅延させる。制御光パルス  $c o n_i$  が、ドロップ素子 7 0 ( i ) に到達すると、ドロップ素子 7 0 ( i ) でプル制御が行われる。また、チャンネル # ( i + 1 ) のパルスが到達するまでに、プッシュ制御が完了する。

#### 【 0 0 8 3 】

このため、ドロップ素子 7 0 ( i ) のドロップ信号出力口から、チャンネル # i のパルスのみが出力される。このようにして、時分割多重された信号光  $s i g$  を分離し、チャンネルごとの信号を得ることができる。チャンネル # i の信号光は、光電気変換素子 7 5 ( i ) に入力され、電気信号に変換される。

#### 【 0 0 8 4 】

上記第 6 及び第 7 の実施例では、多重度 4 の信号光の分離を行う場合について説明したが、一般的に多重度 N の信号光の分離を行う場合には、並列接続または縦続接続するドロップ素子の数を N 個にすればよい。

#### 【 0 0 8 5 】



また、上記第6及び第7の実施例では、1つの制御光パルスを分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応するドロップ素子に、一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させている。このため、時分割多重されたチャンネルごとに制御光パルスを発生させる必要がない。

#### 【0086】

次に、上記第6の実施例と第7の実施例とを対比しつつ、両実施例の効果について説明する。

#### 【0087】

第6の実施例では、信号光  $s i g$  が4等分されるため、各ドロップ素子70 (i) に入力される信号光  $s i g$  の強度は、当初の信号光  $s i g$  の強度の約  $1/4$  になる。これに対し、第7の実施例では、1つの信号光  $s i g$  が、4つのドロップ素子70 (1) ~ 70 (4) を順番に通過するため、信号強度の低下がほとんどない。このため、第7の実施例では、分離された各チャンネルの信号光の強度を高く維持することができる。

#### 【0088】

第7の実施例では、信号光  $s i g$  がドロップ素子70 (i) を通過する度に、信号純度が低下する。具体的には、信号波形が崩れたり、雑音が混入したり、ジッタが発生したりする。これに対し、第6の実施例では、信号純度の低下がほとんど生じない。

#### 【0089】

第6の実施例では、制御光導波路71と信号光導波路72とが交差する。このため、導波路設計に注意が必要である。

#### 【0090】

次に、図14を参照して、本発明の第8の実施例による光スイッチの構成及び動作について説明する。上記第1～第7の実施例では、第1段目MMIと第2段目MMIとを、2本の非線型導波路で接続していたが、導波路を3本以上としてもよい。このとき、少なくとも1本の導波路は、非線型導波路とする必要がある。第8の実施例では、第1段目MMIと第2段目MMIとを接続する導波路を4本とした例である。

## 【 0 0 9 1 】

図 1 4 (A) は、第 8 の実施例による光スイッチの概略平面図を示す。第 1 段目 MMI 9 1 と第 2 段目 MMI 9 2 とが、4 本の導波路 9 3、9 4、9 5 及び 9 6 で相互に接続されている。第 1 段目 MMI 9 1 は、第 1 の入力口 9 1 A と第 2 の入力口 9 1 B とを有し、第 2 段目 MMI 9 2 は、第 1 の出力口 9 2 A と第 2 の出力口 9 2 B とを有する。

## 【 0 0 9 2 】

第 1 段目 MMI 9 1、第 2 段目 MMI 9 2、導波路 9 3 ~ 9 6 は、光の入射方向に平行な仮想直線 C 2 に関して線対称である。導波路 9 4 と 9 5 とが、相互に対称の位置に配置されている。導波路 9 3 と 9 6 とが、導波路 9 4 及び 9 5 の外側に配置されている。導波路 9 4 及び 9 5 が、非線型導波路であり、導波路 9 3 及び 9 6 は、通常の導波路である。

## 【 0 0 9 3 】

第 1 段目 MMI 9 1 及び第 2 段目 MMI 9 2 の幅 W 6 は  $12\ \mu\text{m}$  であり、長さ L 6 は  $345\ \mu\text{m}$  である。導波路 9 3 ~ 9 6 の長さ L 7 は  $100\ \mu\text{m}$ 、導波路 9 3 及び 9 6 の幅 W 7 は  $1.5\ \mu\text{m}$ 、導波路 9 4 及び 9 5 の幅 W 8 は  $1.0\ \mu\text{m}$  である。2 つの入力口 9 1 A 及び 9 1 B は、第 1 段目 MMI 9 1 の入力側の辺の両端に配置され、2 つの出力口 9 2 A 及び 9 2 B は、第 2 段目 MMI 9 2 の出力側の辺の両端に配置されている。

## 【 0 0 9 4 】

図 1 4 (B) 及び (C) に、ビーム伝搬法による光路シミュレーションを行った結果を示す。図 1 4 (A) は、非線型導波路 9 4 及び 9 5 の屈折率が変化していない状態を示し、図 1 4 (B) は、非線型導波路 9 4 及び 9 5 の屈折率が変化した状態を示す。第 1 段目 MMI 9 1、第 2 段目 MMI 9 2、導波路 9 3 及び 9 6 のコア部の屈折率は 3.25 であり、その周囲のクラッド部の屈折率は 3.18 である。導波路 9 4 及び 9 5 のコア部の屈折率は、図 1 4 (B) の状態においては 3.25 であり、図 1 4 (C) の状態においては 3.18 である。図中に示した閉じた曲線は、等光強度曲線である。

## 【 0 0 9 5 】

図 1 4 ( B ) に示したように、非線型導波路 9 4 及び 9 5 の屈折率が変化していない状態では、第 1 段目 MMI 9 1 の第 2 の入力口 9 1 B から入力された信号光が、4 つの導波路 9 3 ～ 9 6 を通過し、第 2 段目 MMI 2 の第 2 の出力口 9 2 B から出力されていることが確認される。第 1 の出力口 9 2 A からは、信号光が出力されない。

【 0 0 9 6 】

図 1 4 ( C ) に示したように、非線型導波路 9 4 及び 9 5 の屈折率が変化した状態では、第 2 の入力口 9 1 B から入力された信号光が、両端の 2 つの導波路 9 3 及び 9 6 を通過し、第 2 段目 MMI 2 の 2 つの出力口 9 2 A 及び 9 2 B から出力されていることが確認される。第 1 の出力口 9 2 A から出力される信号光の強度は、第 2 の出力口 9 2 B から出力される信号光の強度よりも強い。

【 0 0 9 7 】

図 1 4 ( B ) 及び ( C ) に示したシミュレーション結果からわかるように、第 8 の実施例による光スイッチは、第 2 段目 MMI 9 2 の第 2 の出力口 9 2 B をスルー信号出力口とし、第 1 の出力口 9 2 A をドロップ信号出力口としたドロップ素子として使用することができる。

【 0 0 9 8 】

上記第 1 ～ 第 8 の実施例による光スイッチや光デマルチプレクサは、複数の光学素子を 1 枚の半導体基板上に、モノリシックに形成することができる。このため、装置の小型化を図ることが可能になる。なお、必ずしもモノリシック構造とする必要はなく、導波路として、光ファイバや光学結晶を用いることも可能である。

【 0 0 9 9 】

また、上記第 1 ～ 第 8 の実施例による光スイッチや光デマルチプレクサの動作は、信号光の偏光状態に依存しないため、光ファイバから出力された信号光を処理することができる。

【 0 1 0 0 】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明

であろう。

【 0 1 0 1 】

上記実施例から、下記の付記に記載した発明が導出される。

(付記 1) 信号光が入力される第 1 の入力口と、少なくとも 2 つの出力口とを有する第 1 のマルチモード干渉計と、

前記複数の出力口から選択された一つまたは複数の第 1 の出力口の各々に接続されて該第 1 の出力口から出力される光を伝搬させ、外部からの契機信号によって屈折率変化を生ずる第 1 の光導波路と、

前記複数の出力口から選択された一つまたは複数の第 2 の出力口の各々に接続されて該第 2 の出力口から出力される光を伝搬させる第 2 の光導波路と、

前記第 1 の光導波路の屈折率を変化させるための契機信号を、該第 1 の光導波路に供給する契機手段と  
を有する光スイッチ。

(付記 2) 前記第 1 の光導波路が、半導体光増幅器を含む付記 1 に記載の光スイッチ。

(付記 3) さらに、少なくとも 2 つの入力口と、第 1 の出力口とを有し、複数の入力口が、それぞれ前記第 1 の光導波路の出力端と前記第 2 の光導波路の出力端とに接続された第 2 のマルチモード干渉計を有する付記 1 または 2 に記載の光スイッチ。

(付記 4) 前記第 2 のマルチモード干渉計は、前記第 1 の光導波路の屈折率に変化して、前記第 1 の光導波路と第 2 の光導波路とを伝搬する信号光の一方の位相が他方の位相よりも遅延すると、該第 2 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口から出力される信号光の強度を変化させる付記 3 に記載の光スイッチ。

(付記 5) 前記第 2 のマルチモード干渉計が、第 1 の出力口以外に第 2 の出力口を有する付記 3 または 4 に記載の光スイッチ。

(付記 6) 前記第 2 のマルチモード干渉計は、前記第 1 の光導波路の屈折率に変化して、前記第 1 の光導波路と第 2 の光導波路とを伝搬する信号光の一方の位相が他方の位相よりも遅延すると、該第 2 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口と第 2 の出力口とから出力される信号光の強度を変化させる付記 5 に記載の光ス

イッチ。

(付記 7) 前記第 2 のマルチモード干渉計は、前記第 1 の光導波路の中央の点と前記第 2 の光導波路の中央の点とを結ぶ仮想直線に関して、前記第 1 のマルチモード干渉計と線対称の形状を有する付記 3 乃至 6 のいずれかに記載の光スイッチ。

(付記 8) 前記契機手段が、

前記第 1 の光導波路を挟んで対向し、制御光を多重反射させる一対の反射鏡と

該反射鏡で多重反射するように、前記一対の反射鏡内に制御光を導入する制御光導入手段と

を有する付記 1 乃至 7 のいずれかに記載の光スイッチ。

(付記 9) 前記第 1 のマルチモード干渉計が、前記第 1 の入力口以外に第 2 の入力口を有し、

前記契機手段が、

制御光が入力される第 1 の入力口と、第 1 の出力口と第 2 の出力口とを有する第 3 のマルチモード干渉計と、

前記第 3 のマルチモード干渉計の第 2 の出力口から出力される光を、前記第 1 のマルチモード干渉計の第 2 の入力口に入力する第 3 の光導波路と、

前記第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口から出力される光を、信号光と合波して前記第 1 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口へ入力する合波光学素子と

を含む付記 1 乃至 7 のいずれかに記載の光スイッチ。

(付記 10) 前記合波光学素子が、前記第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口に接続された第 1 の入力口と、信号光が入力される第 2 の入力口と、該第 1 の入力口と第 2 の入力口とから入力された光を合波して出力口から出力し、該出力口が前記第 1 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口に接続された第 4 のマルチモード干渉計を含む付記 9 に記載の光スイッチ。

(付記 11) 前記第 2 の光導波路が、入力される光の強度によって屈折率変化を生ずる非線型導波路である付記 9 または 10 に記載の光スイッチ。

(付記 1 2) 前記第 3 のマルチモード干渉計が、第 1 の入力口以外に第 2 の入力口を有し、該第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口から制御光が入力されると、該制御光が前記第 1 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口から出力され、該第 3 のマルチモード干渉計の第 2 の入力口から制御光が入力されると、該制御光が前記第 1 のマルチモード干渉計の第 2 の出力口から出力される付記 1 1 に記載の光スイッチ。

(付記 1 3) 前記契機手段が、さらに、入力口から入力された制御光を分岐し、前記第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口と第 2 の入力口とに、タイミングを相互にずらして入力する分岐遅延光学素子を含む付記 1 1 に記載の光スイッチ。

(付記 1 4) 前記分岐遅延光学素子が、  
制御光が入力される入力口、該入力口から入力された制御光を第 1 の出力口と第 2 の出力口とから出力する第 5 のマルチモード干渉計と、

前記第 5 のマルチモード干渉計の第 1 の出力口と前記第 3 のマルチモード干渉計の第 1 の入力口とを接続する第 4 の光導波路と、

前記第 5 のマルチモード干渉計の第 2 の出力口と前記第 3 のマルチモード干渉計の第 2 の入力口とを接続し、前記第 4 の光導波路とは長さの異なる第 5 の光導波路と

を有する付記 1 3 に記載の光スイッチ。

(付記 1 5) 複数のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、及び制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口を有するドロップ素子と、

時分割多重された信号光を分岐させ、分岐された複数の信号光を、それぞれ前記ドロップ素子の信号光入力口に入力する信号導波路と、

1 つの制御光を分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応する前記ドロップ素子に、一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させる制御導波路と  
を有する光デマルチプレクサ。

(付記 1 6) N 個 (N は 2 以上の整数) のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入

力口、及び制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口を有するドロップ素子と、

多重度 $N$ に時分割多重され、 $N$ 個のチャンネルを有する信号光を、前記ドロップ素子の各々の信号光入力口に入力させる信号導波路と、

1つの制御光を $N$ 個に分岐させ、分岐した $i$ 番目（ $i$ は1以上 $N$ 以下の整数）の制御光を、 $i$ 番目の前記ドロップ素子の制御光入力口に入力させる制御導波路と

を有し、 $i$ 番目のドロップ素子に入力される制御光が、 $i$ 番目のドロップ素子に入力される信号光の $i$ 番目のチャンネルに同期するように、前記信号導波路と制御導波路が制御光及び信号光の一方を他方に対して遅延させる光デマルチプレクサ。

（付記17） 第1段目から第 $N$ 段目までの $N$ 個（ $N$ は2以上の整数）のドロップ素子であって、該ドロップ素子の各々が、制御光が入力される制御光入力口、信号光が入力される信号光入力口、制御光の入力に同期して信号光が出力されるドロップ信号出力口、及び少なくとも該ドロップ信号出力口に信号光が出力されていない期間に信号光を出力するスルー信号出力口を有するドロップ素子と、

時分割多重された信号光を、第1段目のドロップ素子の信号光入力口に入力する第1の光導波路と、

各ドロップ素子のスルー信号出力口を、次段のドロップ素子の信号光入力口に接続する第2の光導波路と、

1つの制御光を分岐させ、分岐した複数の制御光の各々を、対応する前記ドロップ素子に、後段になるほど一定の時間ずつ徐々に遅らせて到達させる制御導波路と

を有する光デマルチプレクサ。

（付記18） 前記信号光が、 $N$ 個のチャンネルが時分割多重された信号であり、

前記制御導波路は、第 $i$ 段目（ $i$ は1以上 $N$ 以下の整数）のドロップ素子に入力される制御光を、該 $i$ 段目のドロップ素子に入力される信号光の第 $i$ 番目のチャンネルに同期させる付記17に記載の光デマルチプレクサ。

（付記 1 9） 前記ドロップ素子が、付記 9 乃至 1 4 に記載の光スイッチで構成されている付記 1 5 乃至 1 8 のいずれかに記載の光デマルチプレクサ。

（付記 2 0） さらに、前記ドロップ素子の各々のドロップ信号出力口から出力される信号光を電気信号に変換する変換器を有する付記 1 5 乃至 1 9 のいずれかに記載の光デマルチプレクサ。

#### 【 0 1 0 2 】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、マルチモード干渉計と非線型導波路とを組み合わせることにより、小型化に適した光スイッチ及び光デマルチプレクサが実現される。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の第 1 の実施例による光スイッチの概略平面図である。

##### 【図 2】

第 1 の実施例による光スイッチの信号光の伝搬の様子をシミュレーションした結果を示す図である。

##### 【図 3】

本発明の第 2 の実施例による光スイッチの概略平面図である。

##### 【図 4】

第 2 の実施例による光スイッチの信号光の伝搬の様子をシミュレーションした結果を示す図である。

##### 【図 5】

本発明の第 3 の実施例による光スイッチの概略平面図である。

##### 【図 6】

第 3 の実施例による光スイッチの信号光の伝搬の様子をシミュレーション結果を示す図である。

##### 【図 7】

実施例による光スイッチに使用される非線型導波路（半導体光増幅器）の斜視図である。



【図 8】

実施例による光スイッチに用いられる非線型導波路に励起光を導入するための光学系を示す概略図である。

【図 9】

本発明の第 4 の実施例による光スイッチの概略平面図である。

【図 1 0】

第 4 の実施例による光スイッチの 2 つの非線型導波路の屈折率の時間変動を示すグラフである。

【図 1 1】

本発明の第 5 の実施例による光スイッチの概略平面図、及びブロック図である。

【図 1 2】

本発明の第 6 の実施例による光デマルチプレクサの概略図である。

【図 1 3】

本発明の第 7 の実施例による光デマルチプレクサの概略図である。

【図 1 4】

本発明の第 8 の実施例による光スイッチの概略平面図、及び信号光の伝搬の様子のシミュレーション結果を示す図である。

【図 1 5】

従来の光デマルチプレクサの概略図である。

【符号の説明】

- 1、1 1、9 1 第 1 段目 MMI
- 2、1 2、9 2 第 2 段目 MMI
- 3、4、1 3、1 4、2 2、2 3、9 4、9 5 非線型導波路
- 2 1 MMI
- 3 0、3 1、3 2 反射鏡
- 3 3 制御光導波路
- 4 0 制御光導入用 MMI
- 4 1、4 2、6 1、6 2、9 3、9 6 導波路

5 0 合波用MMI

6 0 制御光分岐用MMI

7 0 光スイッチ

7 1、8 0 制御光導波路

7 2、8 1 信号光導波路

2 0 0 活性層

2 0 1 p型半導体層

2 0 2 n型半導体層

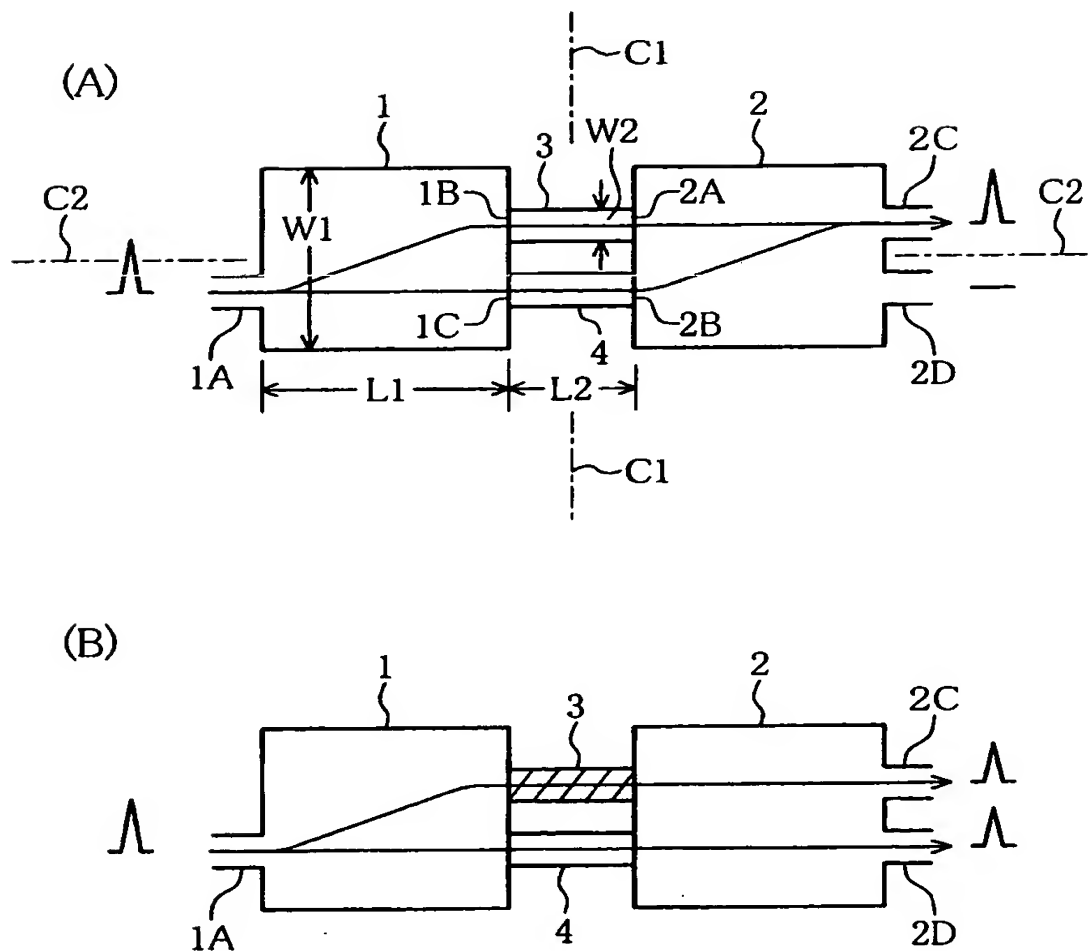
2 0 3 光信号

【書類名】

図面

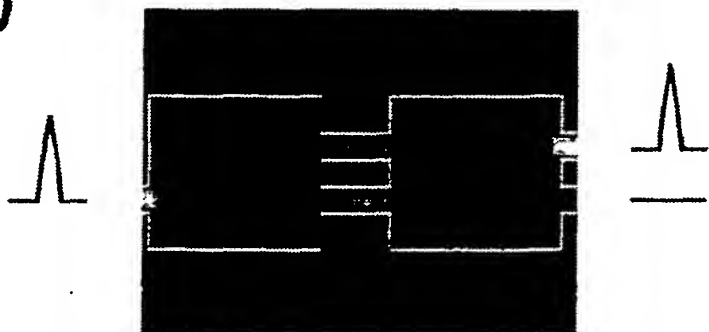
【図 1】

## 第1の実施例

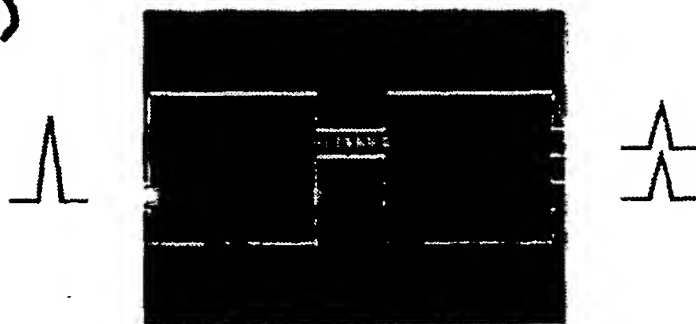


【図2】

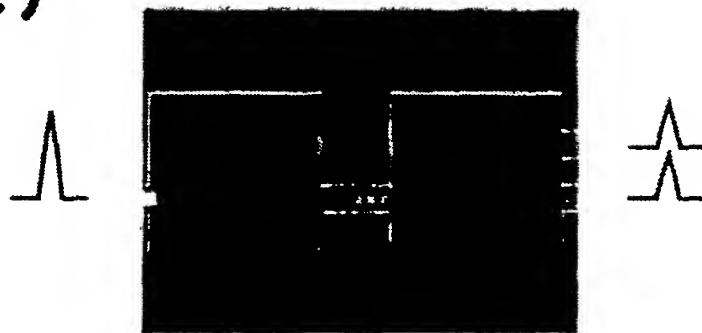
(A)



(B)

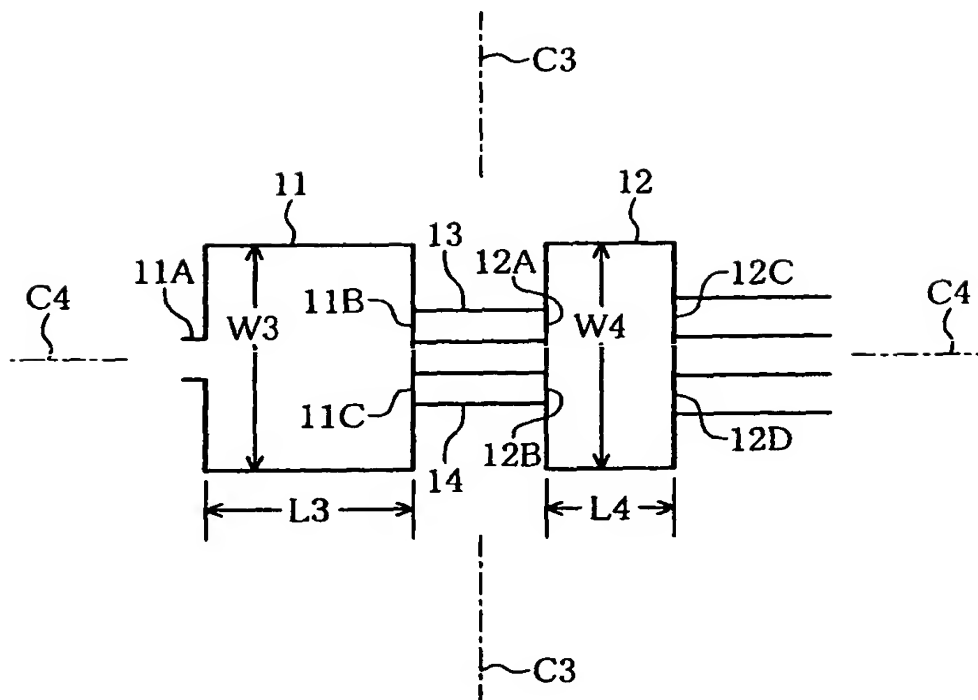


(C)



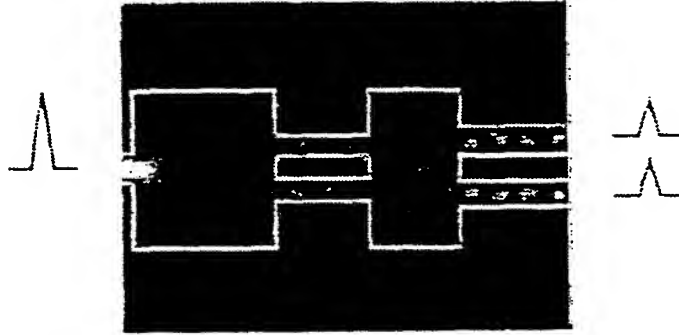
【図 3】

第2の実施例

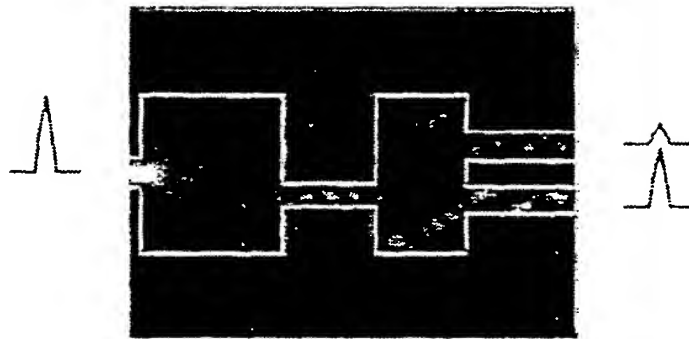


【図4】

(A)

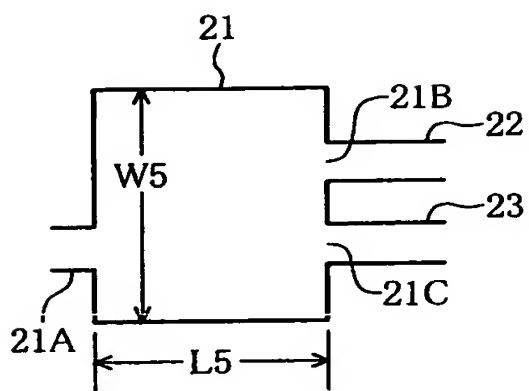


(B)



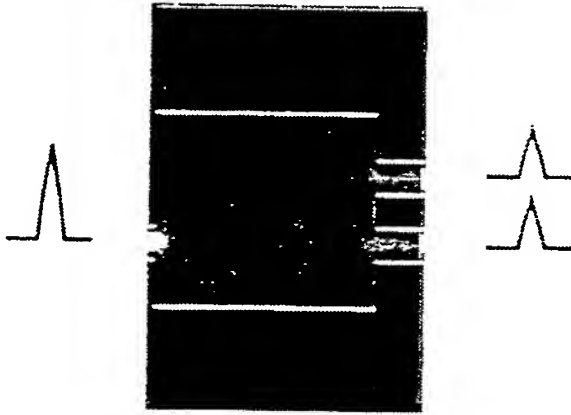
【図 5】

第3の実施例

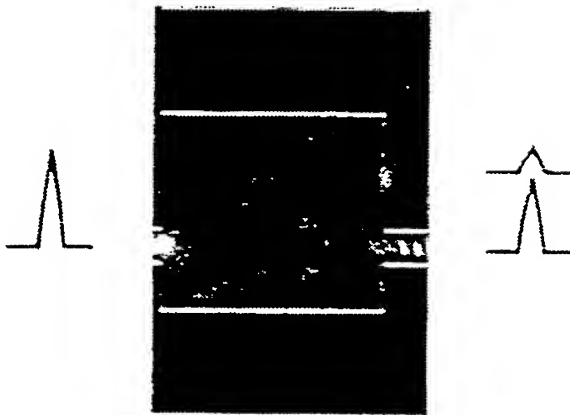


【図6】

(A)

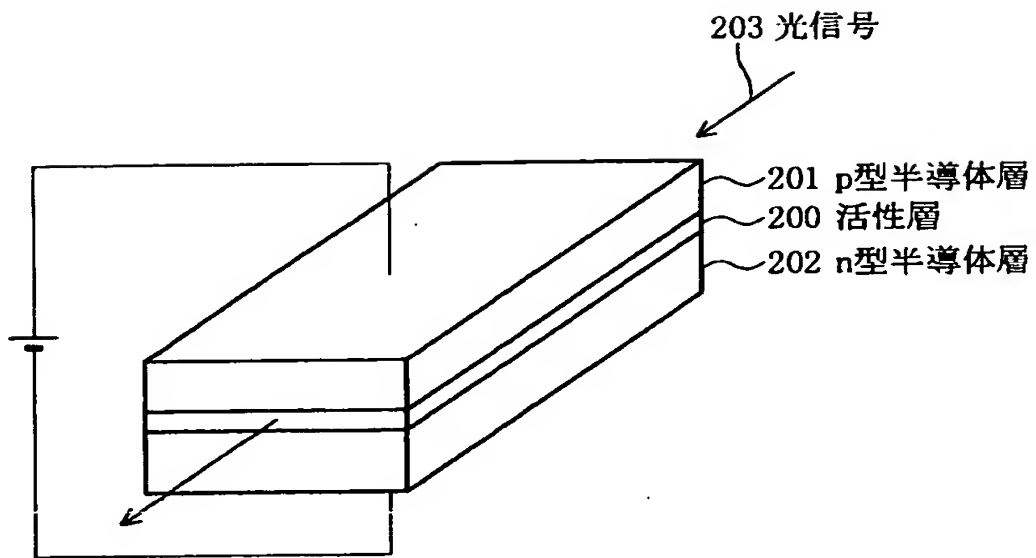


(B)

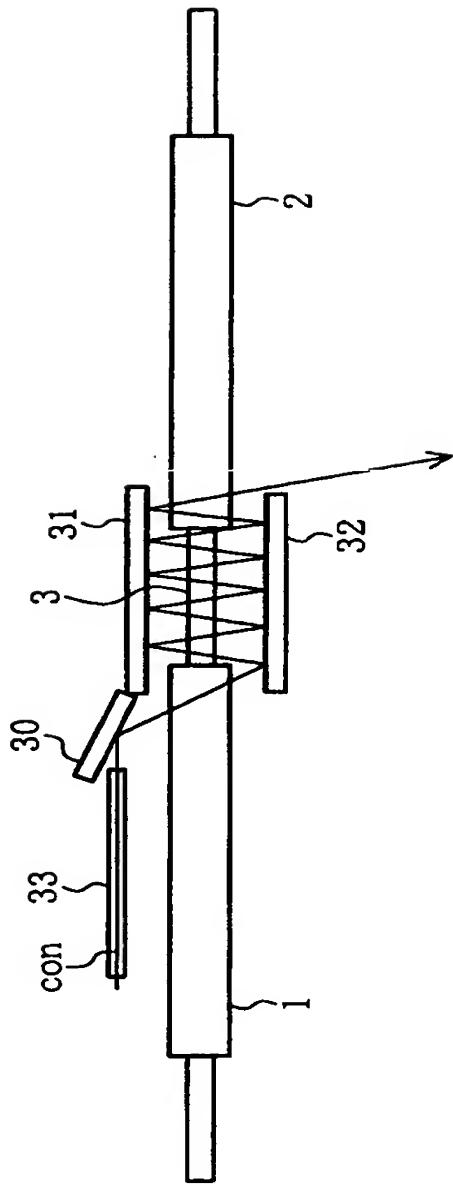




【図 7】

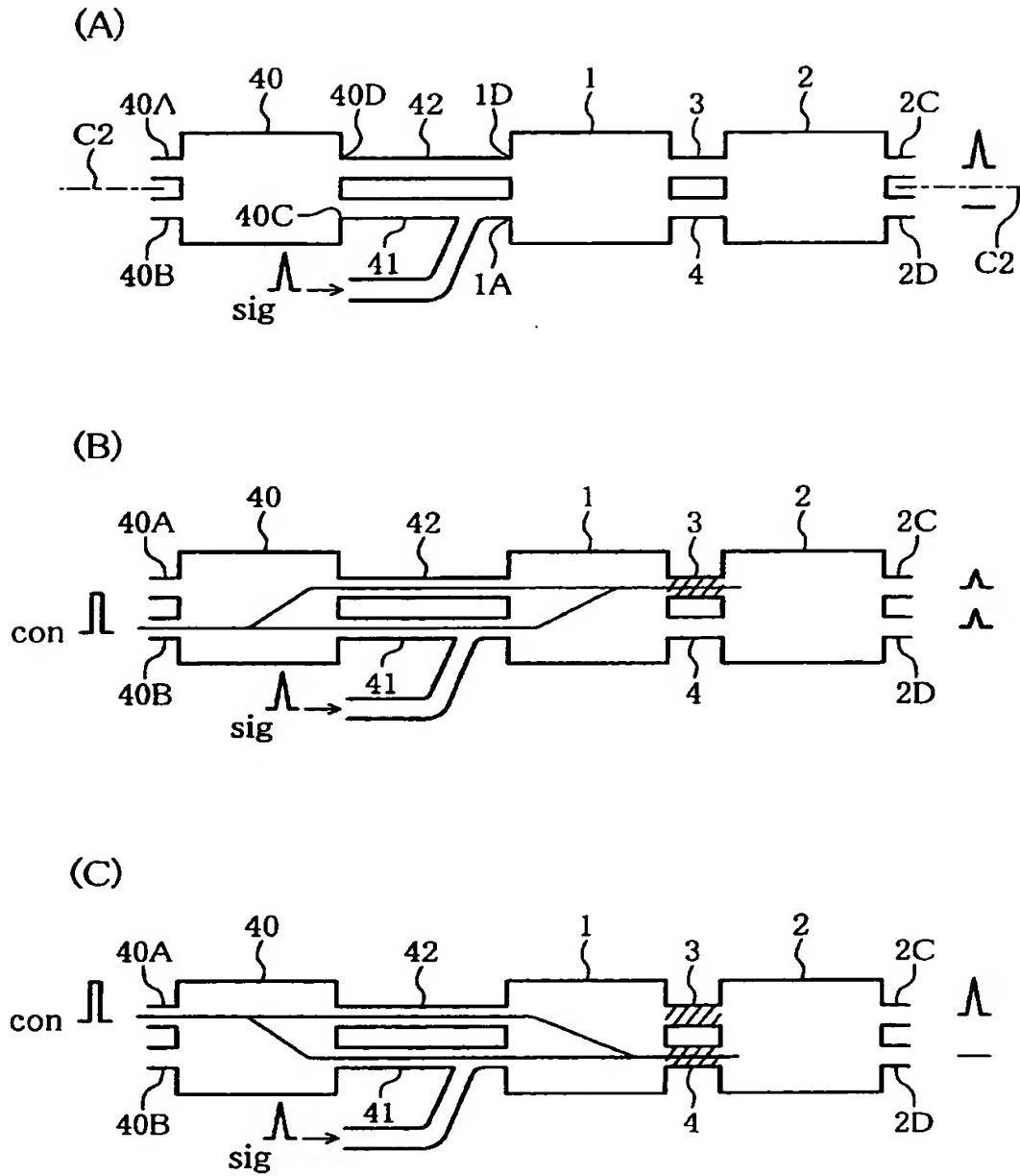


【図8】

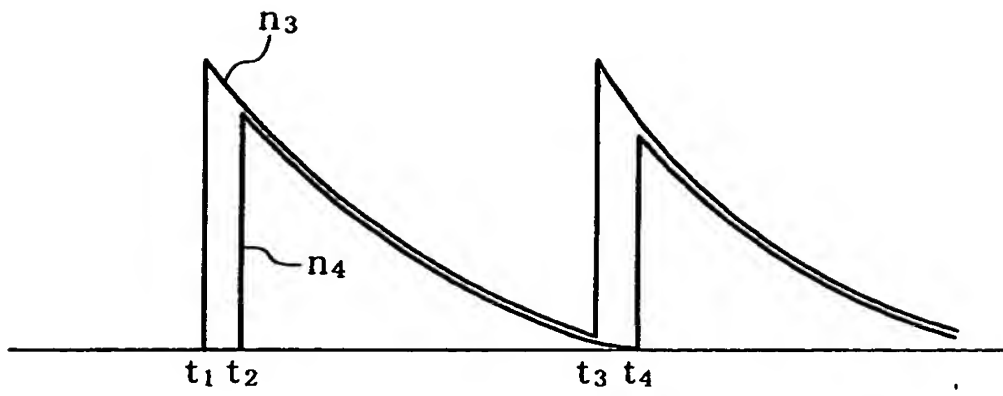


【図 9】

第4の実施例

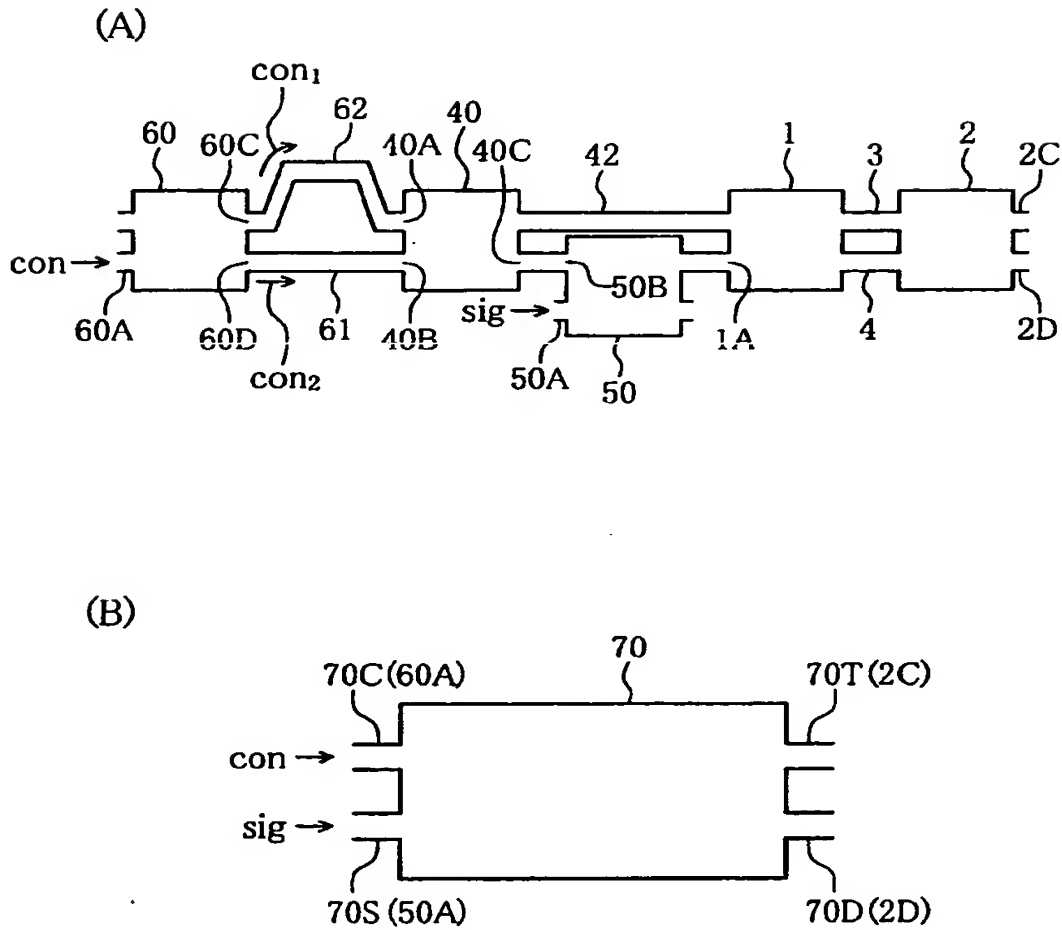


【図 1 0】



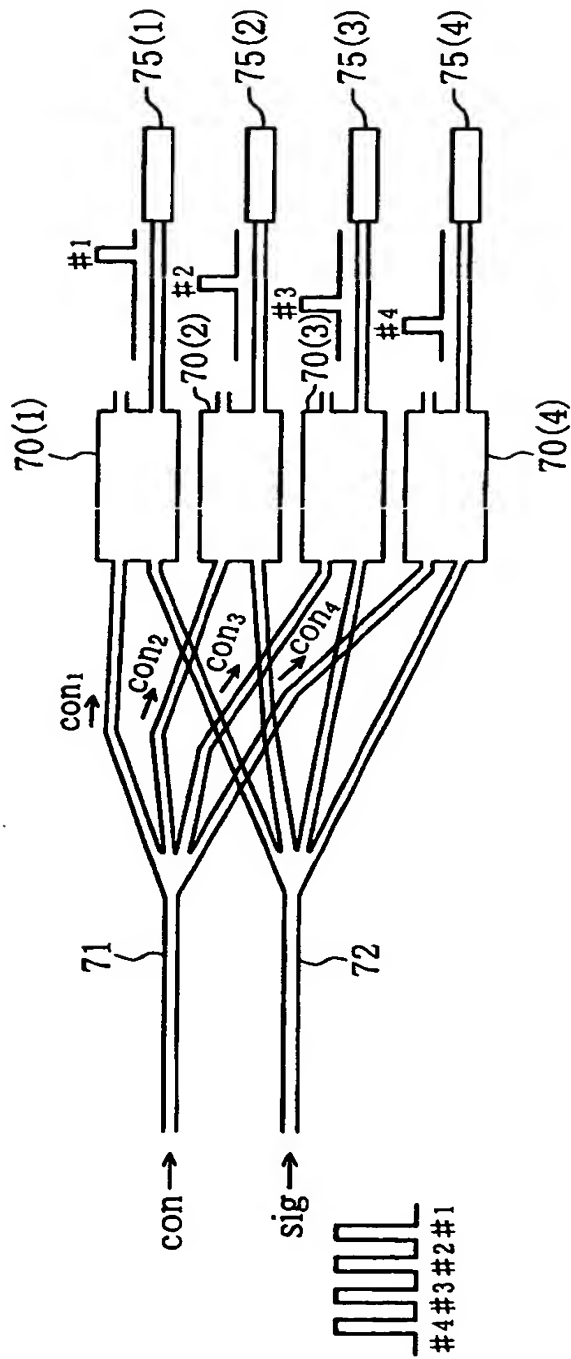
【図 11】

第5の実施例



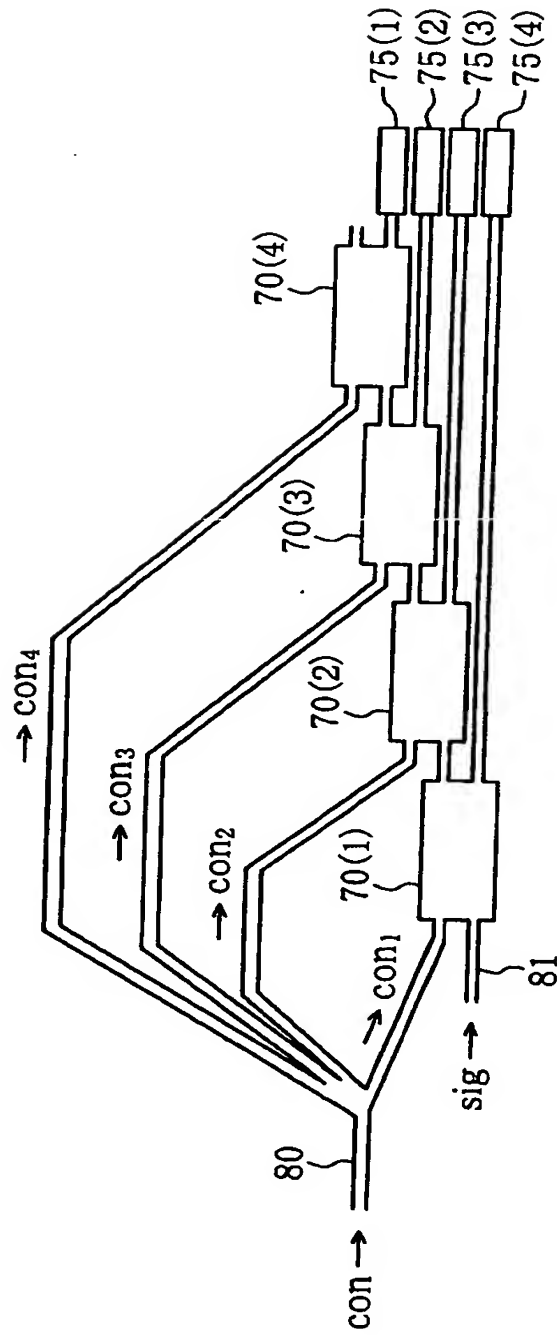
【図 12】

第6の実施例



【図 13】

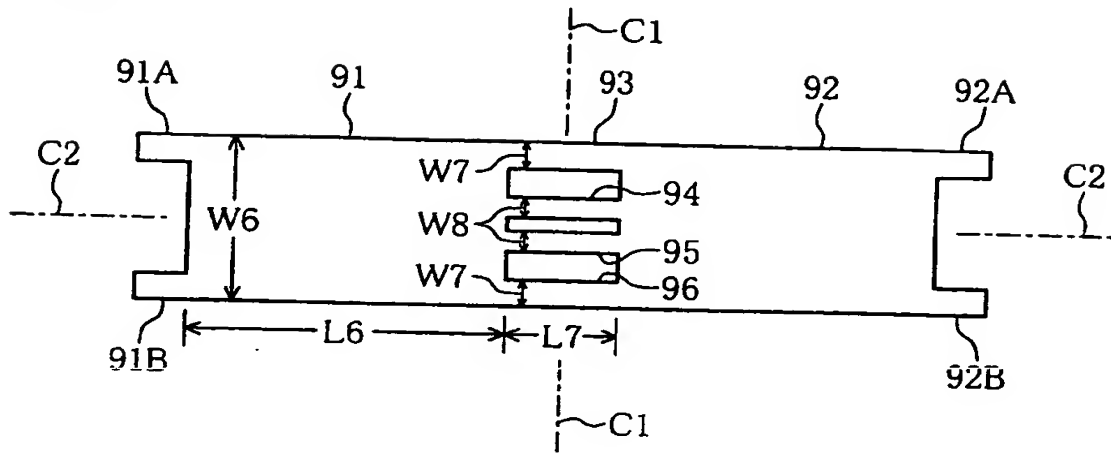
第7の実施例



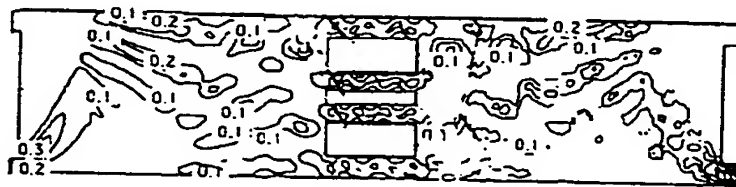
【図14】

第8の実施例

(A)



(B)



(C)

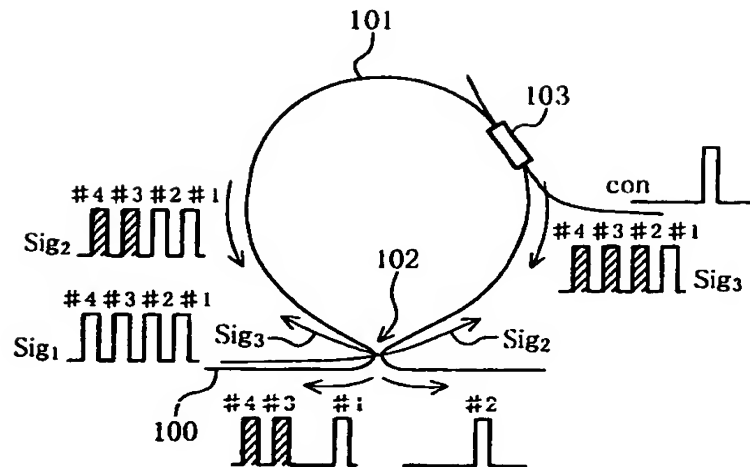




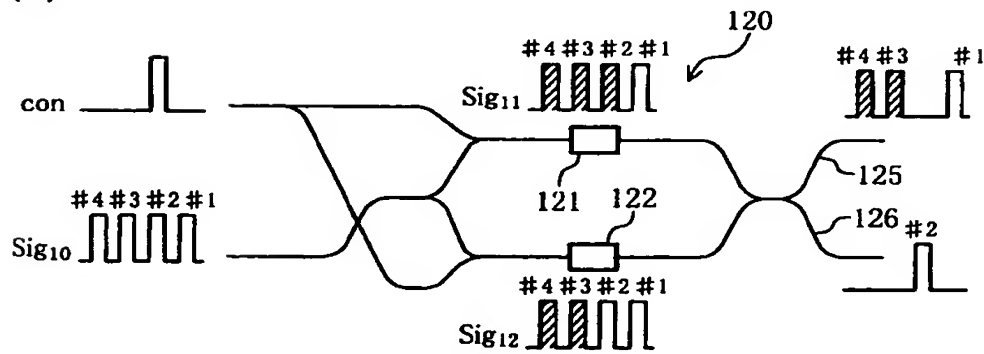
【図 1 5】

従来例

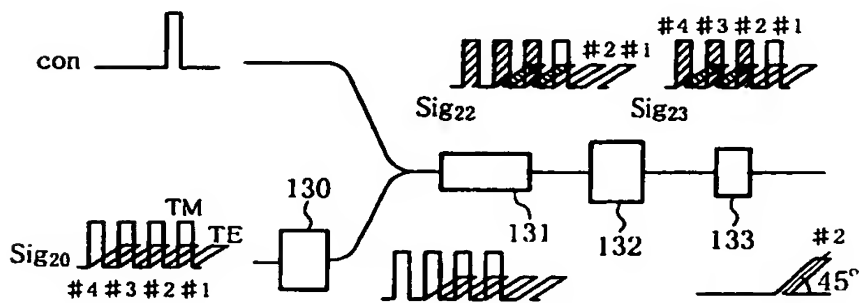
(A)



(B)



(C)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 処理速度を高め、装置の小型化を図ることが可能で、光信号の偏光状態に依存しない光スイッチを提供する。

【解決手段】 信号光が入力される第1の入力口と、第1の出力口と第2の出力口とを有する第1のマルチモード干渉計の第1の出力口に第1の光導波路が接続されている。第1の光導波路は、外部からの契機信号によって屈折率変化を生ずる。第2の光導波路が、第2の出力口に接続されている。契機手段が、第1の光導波路の屈折率を変化させるための契機信号を、第1の光導波路に供給する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日	1996年 3月26日
[変更理由]	住所変更
住 所	神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名	富士通株式会社